

댐 위험도 분석과 대책방안

신창건* · 권현한** · 신은우*** · 문영일****

1. 서론

댐 여수로 방류능력의 부족은 댐의 파손이나 붕괴에 직결되며, 대규모 인명피해와 재산피해가 불가피하다. 따라서, 댐 정밀안전진단에 있어서 이에 대한 검토는 필수적이라 하겠다. 지금까지는 수리·수문학적인 불확실성을 극복하기 위하여 적절한 홍수량을 산정하고 저수지 홍수추적을 수행하여 여유고를 감안한 댐체 높이를 결정하였다. 1990년대 이후에는 지역적 특수성과 치수경제성을 감안한 위험도 분석을 통하여 안전도를 검토하는 것이 일반적인 추세이다. 그러나, 국내에서는 이에 대한 연구가 거의 없는 실정이며, 댐 여수로 방류능력의 신뢰도를 평가하기 위하여 수자원 시스템에 대한 수문사상들의 영향을 평가하고 중요한 변수들에 대한 추정시 불확실성을 고려한 신뢰도 분석이 실시되어야 한다.

본 연구는 위험도 분석에 대한 국내·외 동향을 파악하며, 위험도 해석 댐들의 수리·수문학적 분석과정 및 결과를 검토하여 위험도 평가를 위한 요소를 발굴한다. 또한, 국내 댐의 위험도 해석시에 적합한 실행함수 개발과 실행함수에 불확실성 변량의 통계적 분석시 기존 확률 분포 결정 방법 문제점을 보완한 비매개변수적 모의기법을 개발하는데 목적이 있다.

기존 Monte Carlo 위험도 해석 기법의 특징 및 적용성 분석을 통해 적용 분포형의 가정에 따른 문제점을 해결할 수 있는 비매개변수적기법 개발 및 적용성을 검토하고 국내·외 댐 위험도 기준(criterion) 조사 및 분석을 통해서 국내 댐에 적용 가능한 형식 및 유지상태에 따른 위험도 기준을 검토한다. 댐 파괴 원인에 따라 선정된 실행함수에서 다루는 매개변수들에 대해서 수리·수문학적 위험요소를 선택하고 위험도 분석에 비매개변수적 모의기법을 적용하여 댐 파괴확률을 산정한다. 최종적으로 국내·외 댐 위험도 경감 대책 조사 및 검토를 통해 국내 댐에 적합한 위험도 경감을 위한 대안 도출 및 평가를 실시한다.

본 연구에서는 수리·수문학적 분석에 내포된 불확실성에 대해서 기존 매개변수적 방법의 문제점을 보완한 비매개변수적방법을 도입함으로써 해석결과에 대한 신뢰성을 확보할 수 있으며, 기존 여유고 개념보다 발전된 위험도 해석이 가능해지므로, 혼재되어 있는 댐설계기준의 여유고 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 수리·수문학적 댐 파괴확률의 추정이 가능함으로써 댐 여수로 방류능력 평가결과에 대한 대책 우선순위, 방안 등을 제시하는 중요한 근거를 제공할 것으로 사료된다.

2. 본론

본 연구과제는 최근에 빈번하게 발생하는 이상기후 등의 영향으로 댐의 유입 홍수량 증가

* 한국시설안전기술공단 기술사업단 차장
** 서울시립대학교 토목공학과 박사과정
*** 한국시설안전기술공단 진단2본부장
**** 서울시립대학교 토목공학과 부교수

에 따라 발생할 수 있는 댐 여수로 방류능력의 부족은 댐의 파손이나 붕괴에 직결되며 대규모 인명 및 재산피해가 동반 될 수 있다. 따라서, 댐의 수리·수문학적 파괴확률을 추정하기 위한 댐 위험도 분석과 이에 따른 댐 위험도 저감방안 연구를 본 연구의 목적으로 하며, <그림 1>은 댐 위험도 분석과 대책방안의 해석과정을 나타낸다.

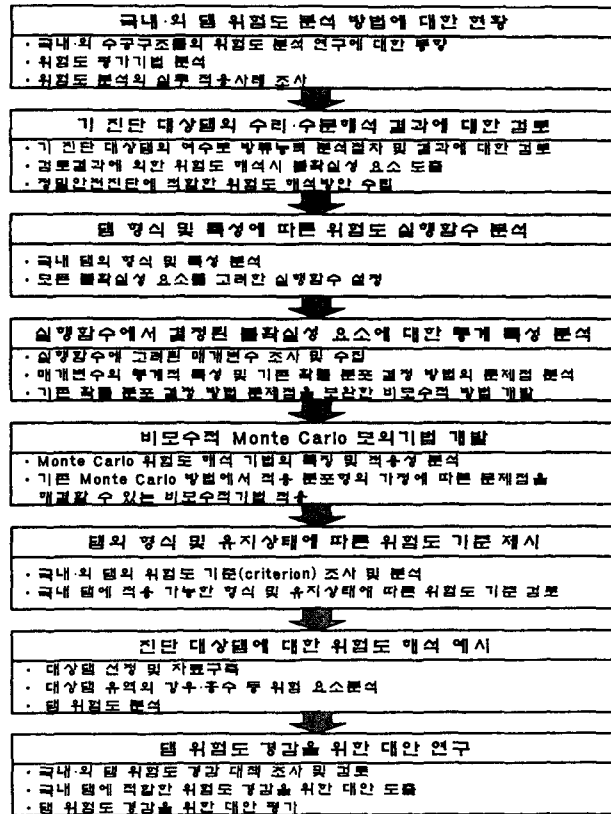


그림 1 댐 위험도 해석 및 대책방안 해석과정

위험도 해석에 앞서 기존 국내·외 댐 위험도 분석 절차 및 해석방법을 조사 및 검토를 통하여 국내에 가장 적합한 수리·수문학적 위험도 해석기법을 정립하고 실제 댐 위험도 해석시에 필요한 실행함수(performance function)를 설정이 필요하다.

수리·수문학적 위험도 해석을 위한 실행함수(performance function)는 홍수, 풍파, 홍수와 풍파와 동시에 발생할 때 3가지로 설정하여 실시하며 각각의 실행함수의 변량에 대해서 비매개변수적 모의발생기법을 사용하여 위험도를 추정하게 된다.

홍수에 대한 실행함수는 <식 1>과 같다.

$$F(h_F) = f(h_F + H_0) - f(H_0) - \text{MAX} \left[\int I - \int C_d L (h_F + H_0 - H_c)^{3/2} \right] = 0 \quad \text{<식 1>}$$

h_F , H_C , H_0 , $f(\cdot)$ 는 각각 홍수의 유입에 의한 수위증가분, 댐체체의 높이, 초기저수위, 표고-저류량 관계를 C_d 는 유량계수 L 은 여수로 길이를 나타낸다. 댐유입량은 유역의 IUH를 유도하여 계산하며, 이 함수로부터 수치해석을 통하여 h_F 를 산정할 수 있다. H_C 와 H_0 는 기지의 값으로 h_F 와 비교하여 파괴상태를 결정하게 된다.

풍파로 인한 위험도 산정을 위한 파괴실행함수는 <식 2>와 같다.

$$g = H_c - H_0 - (h_T + h_r) \tag{식 2}$$

$$= H_c - H_0 - \left[\frac{V_w^2 F}{63000D} + a z_w \exp(-b (0.031 V_w^{0.18} F_c^{-0.09})) \right]$$

z_w 는 최대파의 1/3인 평균파고(m), V_w 는 풍속(km/hr), F 는 취송거리(fetch length, km), 그리고 D 는 취송거리를 따라 측정된 수심의 평균값(m)이며, a, b 는 상수를 나타낸다.

홍수와 풍파가 동시에 발생할 때 중첩의 원리에 근거하여 실행함수는 <식 3>과 같다.

$$P_{FW} = \frac{\mu_w}{\mu_F + \mu_w} P[h_F + h_{mz} > H_c - H_0] + \frac{\mu_F}{\mu_F + \mu_w} P\left[\frac{h_F + h_{mz} + \text{MAX}(h_F, h_w)}{2} > H_c - H_0\right]$$

$$= \frac{\mu_w}{\mu_F + \mu_w} P[h_F + h_{mz} > H_c - H_0]$$

$$+ \frac{\mu_F}{\mu_F + \mu_w} \text{MAX}\left[P\left[h_F + \frac{h_{mz}}{2} > H_c - H_0\right], P\left[\frac{h_F + h_w + h_{mz}}{2} > H_c - H_0\right]\right]$$

<식 3>

여기서 h_F 와 h_w 는 각각 홍수로 인한 수위상승의 최대값과 풍파로 인한 수위상승의 최대값을 h_{mz} 는 홍수와 풍파가 동시에 발생할 때 저수지 수위에 따른 h_w 의 최대값을 나타내며, μ_w 와 μ_F 는 풍파와 홍수의 평균지속시간을 의미한다.

실행함수의 설정과 더불어 국내·외 댐 위험도 기준(criterion)의 조사 및 검토를 실시하여 위험도 해석 결과에 대한 문제점 및 적용성을 판단하고 위험도의 저감 방법을 연구하고자 한다. 홍수로 인한 댐 파괴확률을 추정하기 위해서는 무엇보다도 강우-유출 관계의 명확한 검증은 통한 해석이 필요하며 따라서, 기존 댐 보고서에서 일반적으로 사용하는 미공병단의 HEC-1 유출해석기법을 프로그램으로 작성하여 실시하며 그 내용은 <그림 2>와 같다.

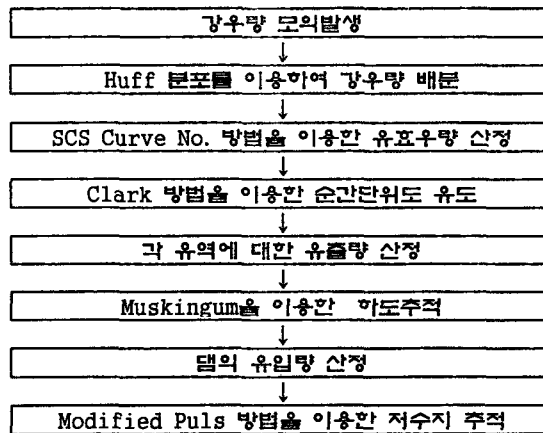


그림 2 강우-유출 모의방법

댐 위험도 해석시에 수리·수문학적 매개변수들의 확률분포형을 정규분포와 같은 경계를 갖지 않는 일반적인 확률분포형에 꼬리(tail) 부분의 영향 때문에 실제와는 너무나 다른 불확실한 위험도 해석이 이루어진다고 지적했다(G. Lombardi, 2002). 위험도 해석시에 수리·수문학적 변량들은 각각 변량 자체의 고유한 통계학적인 특징을 가지고 있으나 기

존의 매개변수적 Monte Carlo Simulation 위험도 분석에서 다루어지는 변량들에 대해서는 통계적인 특징을 적절하게 반영하지 못하고 기존의 확률분포형에 변량들을 그대로 적용시켜 왔다. 따라서, 기존의 매개변수적 Monte Carlo Simulation 방법의 문제점을 상당부분 극복할 수 있는 비매개변수적 Monte Carlo Simulation 기법을 개발하여 실행함수의 변량에 대한 모의발생을 실시하여 파괴확률을 산정하게 된다.

3. 결론

본 연구에서는 댐의 구조적 안전성 확보를 위해서 가장 필수적인 매개변수들을 파악하고 분석하므로 국내 댐에 적합한 위험도 산정 기법 정립이 가능하며 불확실성 변량에 대해서 비매개변수적 기법을 이용한 모의를 통해서 기존의 댐 위험도 분석기법에 문제점을 해결하고 보다 신뢰성 있는 댐 위험도 분석기법 정립이 가능하다. 또한 최근 급격한 기상변화, 유역의 형질변경 및 댐의 노후화 등은 댐 파괴확률을 더욱 가중시키고 있다. 따라서, 이에 대한 정량적 평가는 댐의 안전도 평가에 절대적으로 필요한 요소이며 수리·수문학적 댐 파괴확률의 추정이 가능함으로써 댐 관리에 보다 효율성을 기할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 참고문헌

- (1) 문영일, 신은우, 김동권, 권현한, “비매개변수적 Monte Carlo Simulation에 의한 댐 위험도 분석.” 한국수자원학회 학술발표회, 2002.
- (2) 권현한, 문영일, “댐 위험도 분석을 위한 실행함수 설정방안 연구.” 대한토목학회 학술발표회, 2002.
- (3) Lombardi, G., Preparatory works and regular maintenance. Dam Maintenance and Rehabilitation, 7-15, 2002.
- (4) Moon, Young-II. and Kwon, Hyun-Han., Nonparametric Dam Risk Analysis for Dam Rehabilitation in the South Korea. Dam Maintenance and Rehabilitation, 119-124, 2002.